

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**



# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Tomáš Sýkora**

**2010**

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

### Pojivové systémy formovacích a jádrových směsí II. generace

### Connective systems of forming and core mixtures of the II<sup>nd</sup> generation

Tomáš Sýkora

**KSP–SM–B27**

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Iva Nová, CSc. – *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Ing. Iva Nováková, Ph.D. – *TU v Liberci*

#### Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	55
Počet tabulek:	3
Počet příloh:	2
Počet obrázků:	15

**Datum: 28. květen 2010**

# A N O T A C E

## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

### Fakulta strojní

#### **Katedra strojírenské technologie Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Tomáš Sýkora

Téma práce: Pojivové systémy formovacích a jádrových směsí II. generace  
Connective systems of forming and core mixtures of the II<sup>nd</sup> generation

Číslo BP: KSP-SM-B27

Vedoucí BP: Prof. Ing. Iva Nová, CSc. – *TU v Liberci*

Konzultant BP: Ing. Iva Nováková, Ph.D. – *TU v Liberci*

#### **Abstrakt:**

Bakalářská práce rozebírá pojivové systémy formovacích a jádrových směsí II. generace. Druhá část práce charakterizuje slévárenské formy, především pak jejich využití a materiálové složení. Třetí část je věnována charakteristice a rozdělení pojiv II. generace. Pozornost je zaměřena na organická a anorganická pojiva. Ve čtvrté kapitole je na pojiva nahlíženo z ekologického a ekonomického hlediska. Pátá část poukazuje na využití některých pojivových systémů při výrobě odlitků. Poznatky jsou zhodnoceny v šesté části. V poslední kapitole sedm jsou shrnuty informace o pojivových systémech II. generace.

#### **Klíčová slova:**

Pojivové systémy, II. generace, pojivo, vytvrzování, formování, reakce, odlitek, odlévání, formovací směs, jádro, forma, model, jaderník

**Abstract:**

This bachelor thesis is concerned with the connective systems of forming and core mixtures of the second generation. The second part of this thesis characterizes foundry forms especially their utilization and material structure. In the third part there are presented characteristics and structuring of binders of the second generation. This chapter is focused on the organics and the anorganics binders. The fourth chapter characterizes binders from ecological and economical point of view. The fifth part describes utilization of some connective systems during the production of castings. Pieces of knowledge are evaluated in the sixth part. In the last seventh chapter there are information about connective systems of the second generation.

**Key words:**

Connective systems, II. generation, binding, hardening, forming, casting, forming mixture, core, form, model, core box

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. května 2010

.....  
Tomáš Sýkora  
U Trati 952  
506 01  
Jičín

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval paní Prof. Ing. Ivě Nové, CSc. a paní Ing. Ivě Novákové, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi poskytly při zpracování této bakalářské práce.



## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. CHARAKTERISTIKA SLÉVÁRENSKÝCH FOREM .....</b>	<b>11</b>
<b>3. CHARAKTERISTIKA FORMOVACÍCH SMĚSÍ II. GENERACE .....</b>	<b>16</b>
3.1 Organická pojiva.....	16
3.1.1 Přírodní oleje.....	17
3.1.2 Umělé pryskyřice .....	18
3.1.3 Sacharidy.....	23
3.2 Anorganická pojiva.....	25
3.2.1 Cement .....	25
3.2.2 Sádra.....	28
3.2.3 Pojiva pro výrobu forem metodou vytavitelného modelu.....	30
3.2.4 Vodní sklo .....	31
3.2.4.1 S ovládaným ztužováním .....	31
3.2.4.2 Bez ovládaného ztužování .....	33
<b>4. POJIVA II. GENERACE Z HLEDISKA EKONOMIE A EKOLOGIE.....</b>	<b>39</b>
<b>5. VYŽITÍ SMĚSÍ II. GENERACE PŘI VÝROBĚ ODLITKŮ.....</b>	<b>40</b>
<b>6. DISKUSE POZNATKŮ .....</b>	<b>43</b>
<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>45</b>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

m	hmotnost
mm	milimetr
nm	nanometr
° C	stupeň Celsia
%	procento
MPa	megapascal - jednotka tlaku, odvozená veličina
pH	číselná hodnota koncentrace vodíkových iontů v roztoku
MHz	megahertz - milióntý násobek jednotky kmitsu
kg	kilogram
LKG	litina s kuličkovým grafitem

## 1. ÚVOD

V současné době se slévárenská výroba zaměřuje na využití kvalitních surovin, vyžadujících pro zpracování co nejmenší ekologickou škodlivost a co nejvyšší ekonomickou dostupnost. To platí především o formovacích a jádrových směsích, které jsou důležitou surovinou pro výrobu netrvalých forem a pro výrobu jader. Za uplynulých 65 let prodělal vývoj formovacích a jádrových směsí značný vývoj. Existuje celá řada pojiv a pojivových systémů, které v dnešní době z důvodu výsledků patentových řízení mají různá obchodní označení, a lze jen dosti špatně odhadnout, jakou mají chemickou podstatu. Za širšího hlediska začali slévárenští odborníci pojivové systémy dělit do několika generací. V dnešní době rozdělujeme pojivové systémy do 4 generací. Z hlediska výroby jader a forem je důležitá II. generace pojivových systémů, která v 50. letech minulého století započala produktivní výrobu forem a jader a využila pro jejich výrobu chemizaci procesu. Tato generace pojivových systémů je potřebná i v současnosti.

Problematikou sledování vlastností těchto směsí se v poslední době zabývají pracovníci Katedry strojírenské technologie, FS – TU v Liberci. Řeší otázky, které se týkají důsledků při tepelném zatěžování forem a jader pojivových systémů II. generace.

Také tato bakalářská práce je řešena na téma: „Pojivové systémy formovacích a jádrových směsí II. generace“. Je očekáváno, že na základě provedené rešerše vedle charakteristik jednotlivých způsobů výroby forem a jader bude popsáno i jejich využití pro výrobu odlitků.

## 2. CHARAKTERISTIKA SLÉVÁRENSKÝCH FOREM

Slévárství patří do odvětví netřískových technologií, kdy jsou zhotovovány výrobky nazývané odlitky. Tyto odlitky vznikají tak, že prostřednictvím lící jamky se roztavený kov vlije do dutiny slévárenské formy. Kov vyplní celou dutinu a přizpůsobí se jejímu tvaru. Daná dutina může obsahovat i jádro, které je možné použít pro vytvoření např. otvoru v budoucím odlitku. Z hlediska metalurgie se rozlišuje slévání hutních a tvarových odlitků. V případě výroby hutních odlitků, se tyto odlitky nazývají ingoty, a jsou odlity pouze jako polotovary, které je nutno dále hutnický zpracovávat (např. tvářet, popř. kovat). Naopak při výrobě tvarových odlitků je dosažen tvar konečného výrobku – odlitku. Kvalita povrchu odlitku je přímo závislá na kvalitě dutiny slévárenské formy, jak je obecně známo existují tři typy slévárenských forem (trvalé, polotrvalé, netrvalé).

Trvalé, neboli kovové formy, jsou vyráběny z ocele třídy 17 a 19 nebo z litiny s lupínkovým grafitem. Výhodou je jejich dlouhá životnost, která závisí na složitosti tvaru dutiny a na charakteru slitiny kovu. Odlitky získané z těchto forem jsou sice dražší, ale vyznačují se hladším povrchem a hutností. Do kovových forem je možné odlévat za pomoci gravitačního, vysokotlakého či nízkotlakého odlévání. Gravitační odlévání je založeno pouze na samotné tíze taveniny. Odlévání vysokotlaké probíhá za pomoci tlaku pístu, který vhání taveninu do dutiny a pohybuje se od 2 do 500 MPa. V případě nízkotlakého je využíván přetlak, který dosahuje hodnot 0,03 až 0,5 MPa.

Polotrvalé formy jsou vyrobeny z keramických materiálů sloužící pro odlévání kovů s nízkou tavící teplotou. Tyto formy jsou využívány pro omezený počet odlití (cca 25).

Netrvalé formy, těmto formám se říká pískové a jsou složeny ze směsí minerálních látek. Materiál pro slévárenské netrvalé formy se nejčastěji používá směs hlíny a písku a to písku křemenného. Aby bylo možné slévárenskou netrvalou formu vyrobit, je nutné upravit je tak, aby byly vhodné pro vytvoření slévárenské formy. Takto upravenou hmotu nazýváme formovací směs. Forma je nejčastěji dělená, složena ze dvou dílů a to horního a dolního. Výroba těchto forem se provádí formováním na model nebo modelovou desku, která se zasype a upěchuje formovací směsí. Dutiny velmi

složitých forem, které nelze vyrobit formováním se připravují, tak, že do slévárenského rámu se skládají nepravá jádra. Takto je vytvořena dutina formy, která má tvar budoucího odlitku, musí vykazovat také potřebné mechanické vlastnosti (pevnosti, tvrdost, atd.). Od formovací směsi vyžadujeme důležité vlastnosti (formovatelnost, prodyšnost, pevnost za syrova, chemická stálost, malá plynotvornou, dobrá rozpadavost) a když jsou vlastnosti splněny, je směs považována za formovací slévárenskou směs. Nevýhodou těchto forem je, že po odlití a ztuhnutí kovu se forma musí rozbít, resp. odlitek se z této formy vytluče. Proto tyto formy jsou nazývány netrvalé a slouží pouze na jedno odlití, ale s možností odlévat více odlitku najednou do jedné formy. Použitá směs může sloužit jako vratný materiál pro přípravu nové formovací směsi v následujícím rozdělení:

**Modelová** – tato směs je přímo sypána na model, který ho obklopí a vytvoří tak dutinu. Při odlévání a také tuhnutí odlitku je směs vystavena kovu a tvoří tudíž líc formy. Musí být kvalitní, jelikož se od ní odvíjí kvalita povrchu odlitku.

**Výplňová** – jak už z názvu vyplývá, tato směs vyplňuje zbývající prostor ve formě. Směs tu nemusí být tolik kvalitní, a proto se připravuje z použitých jader jako vratného materiálu.

**Jádrová** - na tuto směs jsou kladeny vůbec nejvyšší požadavky ze všech směsí. Je připravena opravdu z kvalitních a jakostních materiálů. Při odlévání musí směs odolávat penetraci kovu, tj. pronikání tekutého kovu mezi póry jádra. Směs musí mít také schopnost delšího skladování a rozpadavosti po odlití.

**Jednotná** – u této směsi se kombinují vlastnosti směsi modelové a výplňové. Slouží jak pro výrobu líce, tak i pro vytvoření zbývajícího objemu formy a používá se i při strojní výrobě forem pro bentonitové směsi.

Netrvalé formovací směsi také mohou obsahovat volnou vodu, která se odstraňuje sušením při 100 °C a dělí se takto. Pokud formovací směs obsahuje malé množství vody, do 0,1 % nazývá se bezvodá. Polosuchá směs obsahuje 3 % vody, směsi „na syrovo“ – 5 % vody, směsi na přisušení – 6 až 7 % vody a směsi na sušení – nad 7 % vody. Základním složením této formovací směsi je ostřivo a pojivo. V případě, že

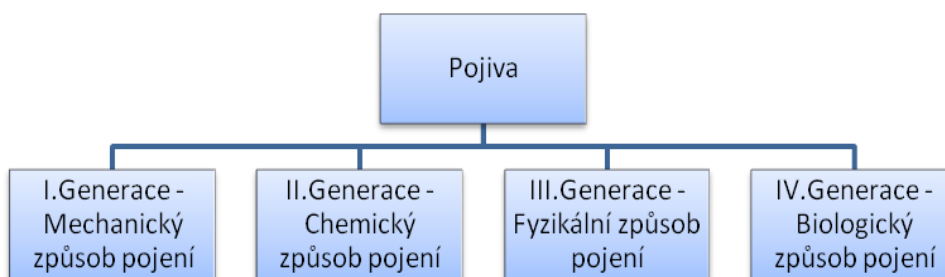
směs tyto základní složky neobsahuje, o formovatelnou směs se nejedná. Ve směsi může být také zastoupena voda a přísadové prvky.

**Ostřivo** – tvoří základní složku, je to kostra celé směsi, tzv. skelet. Zaujímá největší část, a to 98 % celkového objemu. Částice jsou zrnité s velikostí nad 0,02 mm. Je to žáruvzdorný materiál, který musí snést teplotu tekutého kovu. Ostřiva se podle vzniku dělí na přirozená (křemenné písky, zirkonové písky, olivín), umělá (šamotový lupek, elektrokorund, kovové ostřivo). Podle chemického charakteru rozlišujeme ostřiva kyselá (křemenné písky), neutrální (šamot, chromit, korund, zirkon), zásaditá (magnezit, magnezitchrom, chrommagnezit).

**Voda** – Voda je zejména potřeba u směsí, které využívají jílová pojiva (směsi I. generace) a u směsí s anorganickými pojivy (cement, vodní sklo) a také u jílových pojiv.

**Přísadové prvky** – tyto prvky se řadí mezi látky, které zlepšují vlastnosti formovací směsi. Vylepšují vlastnosti jako je pevnost směsi, jakost povrchu odlitku, rozpadavost směsi po ztuhnutí odlitku atd.

**Pojivo** – nejdůležitější částí ve formovací směsi je ostřivo. K vytvoření směsi je zapotřebí pojivo sloužící jako lepidlo, které slepí částice ostřiva a vytváří tak formovací směs. Pojivo má za následek, že směs má svoji pevnost za vysokých teplot a rozpadavost po odlití. Na následujícím obrázku jsou pojiva rozdělena do těchto čtyř generací:



Obr. 1 Rozdělení pojiv dle generací [1]

Pojiva I. generace začala mít uplatnění ve 20. letech minulého století. Pojiva II. generace se začala objevovat ve 40. letech minulého století (byly to především patenty Croninga a Petržely, týkající se tzv. chemizace výroby forem a jader. Patent DRP 832.937 Croninga z roku 1944 týkající se výroby skořepinových forem s použitím fenolformaldehydové pryskyřice a známý patent Petržely z roku 1947, kde využívá pojivo ve formě vodního skla vytvrzeného  $\text{CO}_2$ ). V osmdesátých letech minulého století se začaly objevovat metody III. generace, které využívaly fyzikální podstatu pojení. V současné době jsou testovány směsi IV. generace.

Jak je obecně známo, všechny typy forem se vyrábí formováním na model, resp. na modelovou desku. Jen složité dutiny forem se vyrábí na základě skládání nepravých jader do formovacího rámu. Jádra se vyrábí v jadernicích, různými metodami, jak vyplývá i z obsahu této bakalářské práce.

Ostatní typy forem možno charakterizovat je stručně, protože nejsou obsahem řešení bakalářské práce.

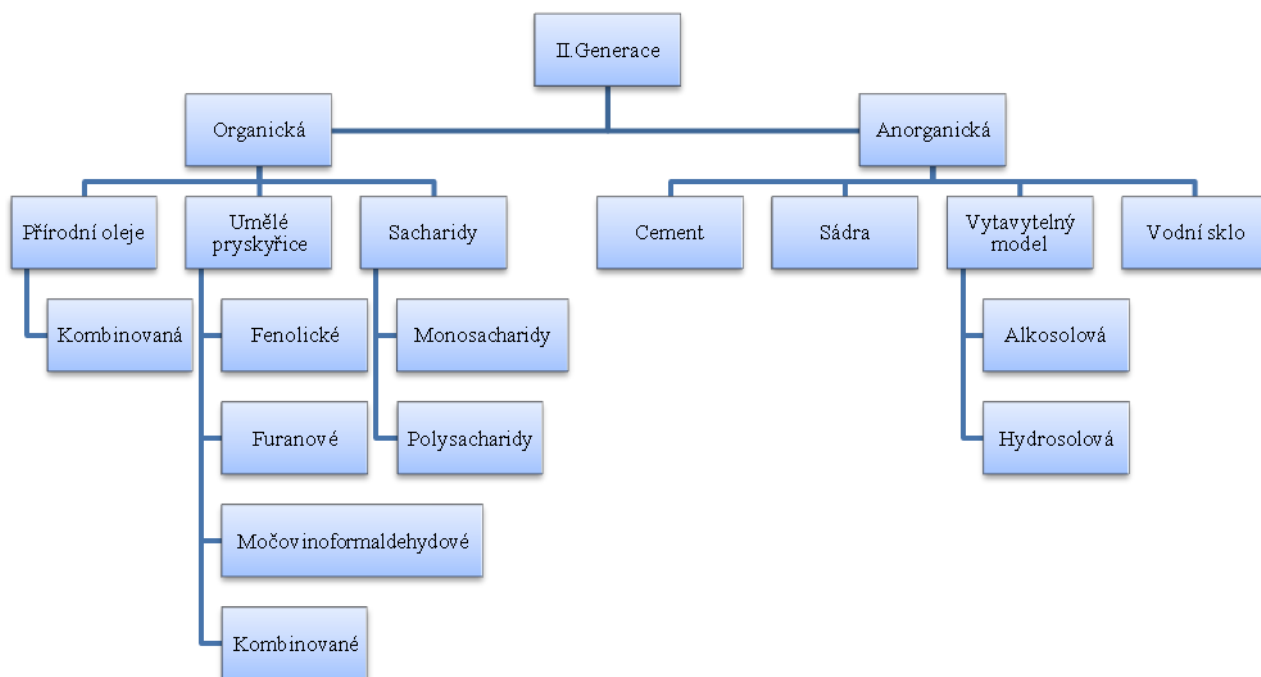
*Kovové formy* – formy tvrdé, jsou vyrobeny třískovým obráběním. Nejčastěji se vyrábí z oceli, např. ocel ČSN 19552 nebo z litiny s lupínkovým grafitem. Ocel ČSN 19552 je chrom - molybden - křemík – vanadová, která se používá k výrobě forem pro vysokotlaké nebo nízkotlaké lití. Ocel je tepelně zpracovaná na základě kalení v oleji a na vzduchu, vykazuje velmi dobrou prokalitelnost, vysokou pevnost za tepla a odolnost proti popuštění, velmi dobrou houževnatost a plastickými vlastnostmi při normálních i zvýšených teplotách. Dále ocel vykazuje velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlinek tepelné únavy a malou citlivost na prudké změny teploty. Ocel po tepelném zpracování dosahuje pevnost až 1800 [MPa], je vhodná pro výrobu nástrojů chlazených vodou. Litina s lupínkovým grafitem se používá pro výrobu forem určených pro gravitační lití. Oba materiály se obrábí třískovým způsobem. V současné době je tendence skládat dutinu kovových forem pro vysokotlaké lití z tvarových vložek vyrobených z různých typů ocelí. Nejvíce tepelně exponované části forem se vyrábí právě z oceli ČSN 19552 nebo z ocelí ekvivalentních. Tyto vložky lze vyměnit, čím se zvyšuje životnost forem.

*Polotvrdé formy* – to jsou formy keramické, keramické, které jsou vyrobené ze speciálních keramických materiálů obléváním modelu v rámu. Tyto formy slouží pro

více odlití, jejich výroba je známá jako metoda SHOW. Ve slévárenské praxi nenachází takové uplatnění.

### 3. CHARAKTERISTIKA FORMOVACÍCH SMĚSÍ II. GENERACE

Základním principem pojení formovacích a jádrových směsí II. generace je chemizace procesu pojení. Pojení může probíhat za tepla i za studena. Na obr. 2 jsou rozdělena pojiva II. generace. Jak je obecně známo, tyto směsi se dělí do dvou základních skupin na směsi organické a anorganické.



Obr. 2 Přehled pojiv II. generace [1]

#### 3.1 Organická pojiva

Organická pojiva se nejvíce využívají při výrobě jádrových směsí a za použití progresivních postupů je možné produkovat jádra. Směsi se vyznačují dobrou pevností po vytvrzení, a to hlavně v ohybu. Pevnost je zde velmi důležitá pro výrobu tenkostěnných tvarů. Mezi další přednosti patří nízká teplota rozpadu a dobrá rozpadavost. Jádra jsou velmi pevná a umožňují i delší skladovatelnost a je možné je i lehce za sucha regenerovat. Směsi jsou vysoce tekuté, proto se dají vstřelovat, nebo i foukat do jaderníku. Organická pojiva jako jsou sacharidy, živočišné a rostlinné oleje dnes patří ke starším pojivům, a proto jsou vytlačovány umělými pryskyřicemi. Mezi umělé pryskyřice patří pryskyřice fenolické, furanové, močovinové, alkydové,



polyuretanové, epoxidové a akrylátové. Ovšem nevýhodou pryskyřičných pojiv je velmi vysoká emise plynů, které mají dlouhodobý nepříznivý dopad na životní organismus.

### 3.1.1 Přírodní oleje

Mohou být ve vodě rozpustné nebo nerozpustné a taktéž rostlinného či živočišného původu. V oblasti slévárenství se používají ty, které ve vodě nerozpustné jsou. Oleje tuhnou oxidačním nebo polymeračním procesem, tedy chemickou cestou. Kvalita olejových pojiv se určuje následovně:

*Jódové číslo* – jód se stykem s mastnými kyselinami reaguje a z dvojných vazeb se stávají jednoduché. Spotřeba jódu stoupá s rostoucím počtem dvojných vazeb.

*Číslo zmydelnění* – kolik miligramů hydroxidu draselného je nutné k zmydelnění jednoho gramu tuku

*Číslo kyselosti* – znázorňuje počet volných mastných kyselin a také udává, kolik miligramů hydroxidu draselného je potřeba k neutralizaci jednoho gramu tuku

#### ***Kombinovaná***

Olejová kombinovaná pojiva se dělí takto:

*Pojiva složená ze suchých olejů* – dřevěný olej, rybí tuk, přírodní a syntetické mastné kyseliny s přidávanou složkou sikativ. Sikativ je oxid kovů jako je olovo, mangan nebo kobalt. Jsou to vyšší oxidy, které lehce odštěpují kyslík. Nutné jsou zde velice čisté a suché křemenné písky.

*Pojiva s umělými pryskyřicemi* – zde u křemenných písků je velmi důležitá nízká vlhkost

*Pojiva na bázi uretanových pryskyřic* – vyráběna na základu uretanových pryskyřic nebo izokyanátu

Mezi výhody olejových pojiv patří dobrá tekutost. Sušení probíhá při teplotách 230 až 250 °C po dobu 2 až 3 hodin. Směsi jsou samotvrdnoucí a nepotřebují energii k tomu, aby vytvrdly. Hlavní nevýhoda spočívá v tom, že pevnost jader nedosahuje pevnosti umělých pryskyřic. Také je zapotřebí odvést vysokou produkci plynů, která při odlévání vzniká, a dále je nutné odvzdušnit jádra. V syrovém stavu je nižší pevnost, která se zvyšuje přísadami, jako jsou jíly, dextrin atp.

Olejová pojiva české výroby jsou následující:

*ISTA KT16/VII* – tato zkratka označuje mazlavé pojivo vyrobené z rybího tuku. Jedná se o pojivo, ve kterém jako základní složky působí pryskyřice a lněný olej.

*ISTA N5* – dané pojivo je vyráběno z odpadních rostlinných nebo živočišných tuků. Musí být ale zhuštěné sulfitovým výluhem, jehož obsah je přibližně 50 %

*ISTA P* – zkratka označující toto pojivo je kompromisem mezi prvním a druhým pojivem.

### **3.1.2 Umělé pryskyřice**

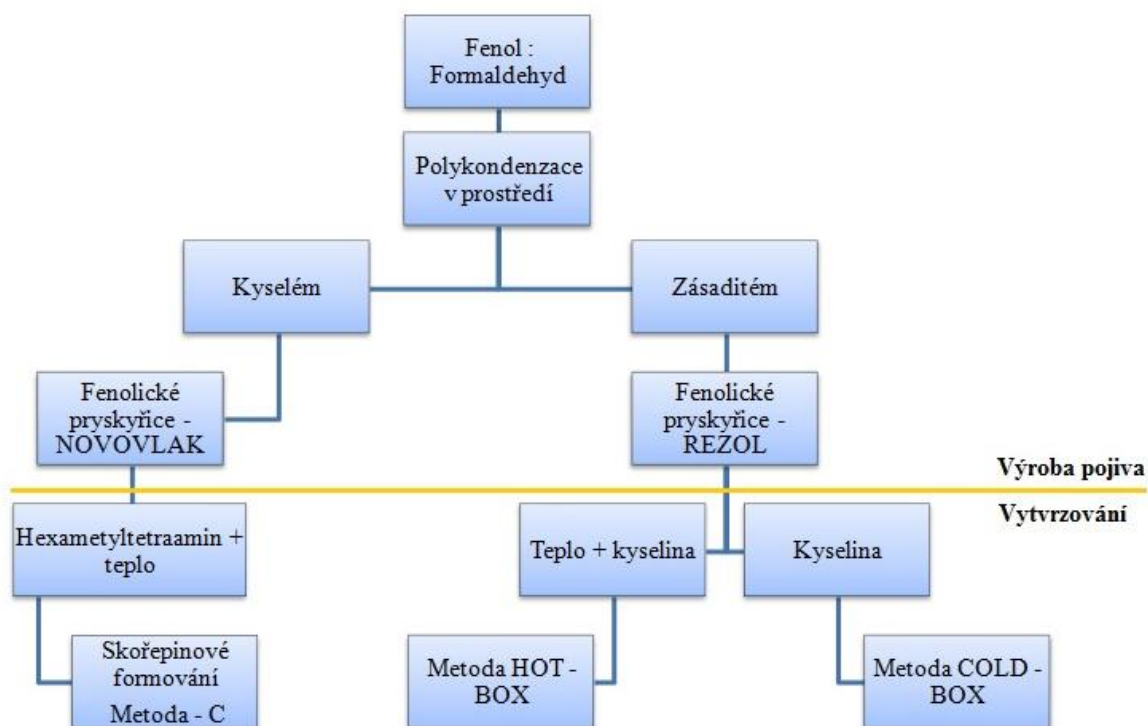
Svým původem patří mezi organické látky. Po vytvrzení jsou ve vodě nerozpustné a nenavlhují. Vytvrzování spočívá v tom, že pryskyřice se naváže na zrna ostřiva a obalí ho. Vznikne tak hmota, která je pevná a nedá se tepelně vrátit do stavu před vytvrzením. Pojiva, která obsahují syntetické pryskyřice, s sebou nesou toxické účinky na lidské zdraví. Jedná se o látky jako je fenol, formaldehyd či furan. Látky působí na nervovou soustavu člověka, nebo vedou k vážným onemocněním. Pryskyřice se z hlediska způsobu vytvrzování dělí na dvě základní skupiny a to ***teplem vytvrditelné*** a ***vytvrditelné za pomoci katalyzátoru***

V dnešní době jsou nejvíce využívány pryskyřice fenolické, furanové, močovinoformaldehydové a kombinované.

## Fenolické pryskyřice

Základní složkou je fenol, jehož chemická značka je  $C_6H_5OH$ . Fenoly se nazývají fenolplasty, protože se vyrábějí za přítomnosti kyseliny karbolové, pomocí které se připravuje umělá polykondenzační pryskyřice fenolformaldehydová. Fenolické pryskyřice se rozdělují podle použití na fenolformaldehydové roztoky, krezolové roztoky, práškové formaldehydové tmely neboli novověky

Fenolické pryskyřice se rozdělují dle polykondenzace v prostředí a dle technologií, kterých využívají. Toto členění je zobrazeno na následujícím obrázku č. 3:



Obr. 3 Fenolformaldehydová pojiva a technologie používající fenolické pryskyřice [1]

Obr. č. 3 popisuje výrobu jader v kyselém a zásaditém prostředí. Následující odstavec charakterizuje skořepinové formování za pomoci Metody C, dále je pojednáno o metodách HOT-BOX a COLD-BOX, které jsou využívány v prostředí zásaditém.

*Kyselé prostředí + fenolická pryskyřice (novovlak) + katalyzátor hexametyltetraamin a teplo = metoda C*

*Metoda C* - metoda dle Croninga. Výroba skořepinových forem a jader za pomoci termoplastické fenolformaldehydové pryskyřice. Skořepina je utvářena natavováním vrstev směsi teplem od modelu nebo jaderníku o teplotě 240 až 280 °C. Působením dalšího tepla se skořepina vytvrdí. Vyráběny jsou tenkostěnná či dutá jádra ze suché a sypké směsi. Většinou se směs skládá z křemenného ostřiva, z pryskyřice, která je tavitelná a snáze vytvrditelná, a také z dalších přísadových složek. Směs je natolik sypká, že je možné ji dobře foukat a vyrobit tak i velmi složité tvary jader a forem. Mnohdy stačí jen nasypat směs na model či jaderník volným pádem. Tak odpadá potřeba vysokého tlaku na foukání směsi. Skořepinová jádra jsou vhodná jak do pískových, tak i do kovových forem (kokil). Směsi pro skořepiny je buď sypká obalená směs (za tepla) a suchá směs (za studena).

*Zásadité prostředí + fenolická pryskyřice (rezol) + teplo a kyselina = metoda Hot-Box*

*Metoda Hot-Box (HB)* - metoda horkých jaderníků HB. Směs je tvořena křemenným ostřivem, pryskyřicí, představující pojivo, a kyselinou, která má funkci katalyzátoru. Směs je vstřelována do horkého jaderníku, kde dojde při teplotě 370 °C k vytvrzení v celém objemu. Rozdíl mezi metodou HB a metodou C spočívá v tom, že metodou HB dochází k vytvoření plných jader, zatímco při realizaci metody C vzniká pouze skořepina. Podobnou metodou k metodě HB je metoda Warm-Box (WB), která je založena na nižší teplotě 250 °C. Metoda HB využívá organických pojiv, a to pryskyřice a sacharidy. Sacharidy se již pro svoji navlhavost nepoužívají. Tato pojiva byla nahrazena modifikovanými pryskyřicemi sacharosou, která se velmi dobře rozpouští ve vodě. V důsledku toho došlo k omezení poloviny množství drahého fenolu, který byl tak vystřídán sacharosou. Mezi nejvíce užívaná pryskyřičná pojiva se řadí pojiva močovino-formaldehydová, melamino-formaldehydová, furanová, fenol-formaldehydová (resol). Nejpoužívanější pojivo se používá resol.

*Zásadité prostředí + fenolická pryskyřice (rezol) + kyselina = metoda Cold-Box*

*Metoda Cold-Box* - metoda studených jaderníků, kde k vytvrzování není zapotřebí energie čili tepla. Princip spočívá v tom, že fenolický rezol se vytvrdí sám za přítomnosti kyseliny jako katalyzátoru za studena. Směs je složena z křemenného ostříva a rezolové pryskyřice, která se smíchá s katalyzátorem. Poté se směs vstřelí do jaderníku a po profouknutí katalyzátorem dojde k jejímu vytvrzení. Podstatným rysem je obsah katalyzátoru. Čím vyšší jeho obsah je, tím vyšší je rychlost vytvrzování, což má však za následek nižší pevnost. S větším obsahem katalyzátoru je taktéž spojena kratší doba skladovatelnosti jader.

### ***Furanové pryskyřice***

Furanových pryskyřic se využívá u technologií horkých jaderníků (Hot-Box), samotvrdnoucích směsí s ovládaným ztužováním a bez ovládaného ztužování. Pojiva na bázi furanu se nazývají podle základní složky furanu, která má chemickou značku  $C_4H_4O$ . Furan je složkou dehtu, který pochází se dřeva jehličnatých stromů, slámy nebo kukuřičných palic. Furan lze získat i uměle z kyseliny tetrahydroxyadipové, a to buď dehydratací, nebo dekarboxylací. Při výrobě furanové pryskyřice se využívá jednoduchého derivátu furanu zvaného aldehyd kyseliny pyrosilizové, tzv. furfural s chemickou značkou  $C_5H_4O_2$ . Furfural je bezbarvá kapalina, která na vzduchu hnědne a pryskyřnatí. Ve vodě se rozkládá jen z části, ale v alkoholu, eteru, benzenu a acetonu se rozpouští dobře. Patří mezi primární přísadu při výrobě polyamidů na bázi nylonu, umělých pryskyřic a je využívána jako sekundární látka pro výrobu syntetického kaučuku. Ve slévárenství se využívá tří furanových pryskyřic, které jsou uvedeny níže:

*Furanaminoaldehydové* – tyto pryskyřice jsou založeny na základě furalu, furfurylalkoholu, formaldehydu a močoviny. Jsou evidovány pod obchodním názvem VITRESIT SL. Využívají se pro výrobu jader a forem odlitků ze šedé litiny. Pojivo obsahuje dusík.

*Furanketonaldehydové* – jde o pojivo, které v sobě nemá dusík. Jeho základem je fural, aceton a formaldehyd. Toto pojivo je dražší a má obchodní název VITRESIT O. Za pomoci tohoto pojiva se vyrábí jádra a různé formy odlitků z ocelí.

*Furalové* - furanové pryskyřice se rozdělují do skupin dle obsahu dusíku, který se pohybuje od 0 do 11 %, a dle podílu vody, jejíž maximální hodnota je 30 %. Pro zvýšení kvality samotvrdnoucí směsi je zapotřebí vyšší obsah furfurylalkoholu v pojivu, což má však za následek vyšší cenu. Polymerace neboli rychlost změny furfurylalkoholu na pryskyřici je závislá na pH prostředí i na teplotě. Tato změna probíhá ve dvou fázích. Nejprve dochází k polymeraci monomeru s velmi malým množstvím zásadité kyseliny, jejíž hodnota pH se po neutralizaci pohybuje od 5 do 8. V případě samotvrdnoucích směsí probíhá polykondenzace pomocí kyselých katalyzátorů. Při průběhu exotermického vytvrzování vzniká voda a zároveň dochází ke změně barvy z bílé na tmavou zelenou až černou. Toto vytvrzování probíhá směrem od povrchu do jader za účelem odpaření vody. S vyšší teplotou se zvyšuje rychlost vytvrzování.

### ***Močovinoformaldehydové pryskyřice***

Tato pryskyřice vzniká při procesu zahřívání molekuly močoviny a dvou molekul formaldehydu v mírně kyselém prostředí. Pryskyřice se vyskytuje ve formě kapalného roztoku. Hodnota pH a doba trvání reakce mají primární vliv na vlastnosti pryskyřice. Polykondenzace probíhá v následujících třech fázích:

- I. Fáze* – pryskyřičné výrobky v důsledku snížení obsahu vody na nulu a za přítomnosti kladných iontů vodíku přechází do fáze II.
- II. Fáze* – pryskyřice mění svoji hustotu a přibližuje se hustotě želatiny. Hůře se rozpouští ve vodě a vyznačuje se vysokou viskozitou. Díky teplu a kyselým látkám nastává III. fáze.
- III. Fáze* – v této fázi vznikají tvrdé a netavitelné sloučeniny, které jsou nevratné.

Při procesu lití tekutého kovu, termodestrukci, pryskyřice nepříjemně zapáchá, což má za následek její omezené využití. Při termodestrukci probíhající při nízkých teplotách se uvolňuje dusík, který v některých případech způsobuje nerovnosti na odlitém předmětu. Velkou nevýhodou je, že se z pryskyřice uvolňuje fenolformaldehyd. Tomuto jevu lze předejít použitím metody Cold-Box. Močovinoformaldehydová pryskyřice sloužící jako pojivo zajišťuje směsi dobrou rozpadavost.

### ***Kombinované pryskyřice***

Mezi tato pojiva se řadí i furanové pryskyřice, pomocí kterých je možné snížit hodnoty vytvrzování na 150 až 180 °C. Výhodou je malá doba průběhu jejich vytvrzování, která je však vykoupena vysokými náklady.

### **3.1.3 Sacharidy**

V minulosti byly sacharidy nesprávně nazývány uhlohydráty. Řada sacharidů má poměr vodíku a kyslíku 2:1, jako tomu je u vody. Sacharidy se rozkládají ve vodě a také přijímají vlhkost ze vzduchu. Markantně zvyšují pevnost směsi za syrova, která se vyznačuje dobrými vlastnostmi po vysušení. Používají se pro výrobu slévárenských jader. Sacharidy se dělí do následujících dvou skupin, ***Monosacharidy a oligosacharidy*** a ***Polysacharidy***

#### ***Monosacharidy***

Monosacharidy jsou charakteristické malou molekulovou hmotností. Označované jako běžné cukry. Za vyšších teplot mění svou barvu na hnědou a karamelizují. Mezi monosacharidy patří níže uvedené látky:

*Glukoprén* – Je to hnědý sirupový technický roztok glukózy, modifikován 10 % síranem amonným. Obsahem glukoprénu je sušina, která zaujímá minimálně 55 % tohoto roztoku při teplotě 105 °C. Kyselost vodného roztoku je 5,5 (pH = 5,5). Pro své

vlastnosti je vhodný pro výrobu jader technologií vstřelování (Hot-Box). Bentonitové směsi obsahují složku dextren, který se dá nahradit právě glupoprénem.

*Melasa* – Vzniká při zpracování cukrové řepy. Melasa je tvořena 50 % sacharósy, 20 % vody a 30 % alkalickými solemi. Pro zvýšení pevnosti melasy je zapotřebí proces karamelizování sacharósy. Alkalické soli a jejich vysoký obsah má za následek vlhnutí jader a forem. Projevem této vlhkosti je zvýšená plynatost. Delší skladování melasy vede ke kvašení.

*Dextronér* – Je louh, který pochází z výroby glukósy. Skládá se ze 62 % sušiny, po odpaření vody stoupne obsah až na 75 %. Tento obsah sušiny již vyhovuje pro výrobu směsi. Obsah soli je zde menší než u melasy, její podíl je maximálně 30 %. Pro dosažení nejlepších mechanických vlastností je nutné dextronér sušit při 210 až 215 °C. Nevýhoda spočívá v delším skladování, kdy se vylučuje glukósa. Je vhodný jako pojivo pro výrobu jader metodou Hot-Box.

### ***Polysacharidy***

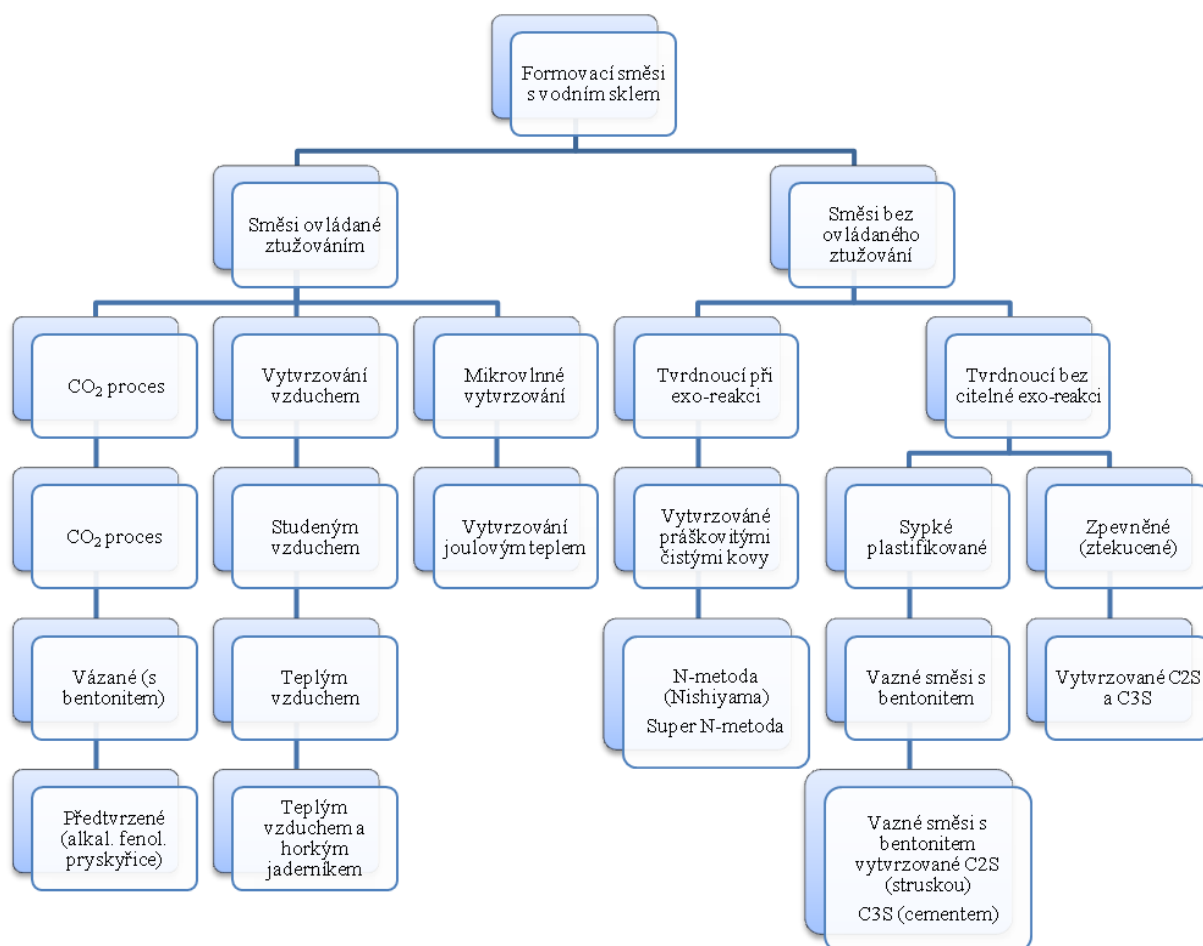
Polysacharidy mající velkou molekulovou hmotnost jsou označovány jako vysokomolekulární polykondenzáty. Při hydrolýze se rozpadají až na monosacharidy, které ve vodě utvářejí koloidní roztoky, známé jako škroby.

*Škrob* – Charakteristická vlastnost je bílá barva a ve studené vodě je velmi těžko rozpustný. Škrob obsahuje 10 až 20 % vody, která se odstraňuje velmi opatrným sušením. Škrob takto zbavený vody je velice hygrokopický. Amylosa neboli molekuly ryzího škrobu jsou snadno rozpouštěny v horké vodě. Ve skutečnosti jen bobtnají a vzniká tak viskózní roztok. Po ochlazení se vytvoří lepivý gel, který je nazýván škrobový maz. Jako pojivo se tento maz používá zředka, většího využití nalezne jako přísadová látka do bentonitových směsí v podobě dextrinu. Směs tím získá lepší spěchovatelnost, houževnatost a plastičnost.



## 3.2 Anorganická pojiva

V oblasti slévárenství se k nejhojněji využívaným anorganickým pojivům řadí cement, sádra, alkosoly, hydrosoly a vodní sklo. Alkoholy a hydrosoly se používají u metod výroby forem vytavitelným modelem. Jak se ukazuje tyto formovací a jádrové směsi jsou z ekologického i zdravotního hlediska výhodnější.



Obr. 4. Vývoj formovací směsi s vodním sklem [1]

### 3.2.1 Cement

Cementová formovací směs spolu se šamotovou směsí jsou používány pro výrobu slévárenských forem pro odlévání těžkých odlitků z litiny a ocele. Jako ostřiva jsou nejvíce upřednostňována křemenná, šamotová, olivínová. Cementová pojiva jsou také nazývána hydraulická pojiva, a to z důvodu, že i s vyšší vlhkostí nevyžadují vysušení. Po vysušení získávají vyrobená jádra pevnost někdy až po 24 hodinách. Tento

24 hodinový cyklus je však dlouhý, proto bývá zkracován za pomoci urychlovačů nebo mechanickou aktivací pojiva, tzv. mikromletých cementů. Došlo tak ke zkrácení doby vytvrzování rychlotvrdnoucího cementu, ve kterém je obsažen portlandský nebo hlinitý cement, až na 6 hodin. Cementová směs spolu s melasou má za následek vznik síťového polymeru, který dává směsi pevnost a plasticitu a zároveň snižuje rychlost tuhnutí. Pro zvýšení účinku se přidává polymer zvaný karboxymethylcelulos. Vytvrzovací čas cementu s melasou překračuje 24 hodin. Cement je složen z hydraulické a zásadité složky. Poměr těchto složek je vyjádřen hydraulickým modulem mezi hodnotami 1,7 až 2,2. Při výrobě jader nebo forem je důraz kladen na schopnost cementu efektivně chemicky vázat vlhkost. Tato vlastnost má za následek omezení vzniku nežádoucích plynů při odlévání. Cement jako pojivo se hojně používá v Německu a Francii, u nás v České republice není známo, že by v současné době někdo tyto směsi pro výrobu forem používal.

Pojivový systém u cementových směsí vytváří cement, který váže vodu a probíhá proces hydratace. Proces hydratace probíhá v celém objemu slévárenské formy. Při hydrataci se objevují zcela nové krystalické fáze, které vznikají z přesyceného roztoku a svým srůstáním vytvářejí kompaktní celek, tzv. konglomerát.

Prostřednictvím tzv. vodního součinitele je vyjadřována hmotnost vody a cementu. Tento ukazatel je formulován následujícím vzorcem:

$$\text{vodní součinitel} = \frac{m_v}{m_c}, \quad (1)$$

kde značí:  $m_v$  - hmotnost vody,  
 $m_c$  - hmotnost cementu.

Vodní součinitel má přímý vliv na formovatelnost, zpracovatelnost a pevnost směsi. Při normálních poměrech se hodnoty vodního součinitele pohybují od 0,6 do 0,9. Při těchto hodnotách však vytvrzování probíhá pomalu.

Cementové směsi jsou obecně považovány za vhodné a využívají se při výrobě odlitků s tvarovou jednoduchostí. Cementová pojiva se rozděluje do tří kategorií, podle základních druhů cementů, viz tabulka 1.

**Tab. 1 Základní druhy cementů [1]**

CEMENT		
Portlandský cement	Struskoportlandský cement	Hlinitanový cement
křemičitan trojvápenatý (alit) $C_3S$ 45÷75 %	<b>železoportlandský</b> portlandský cement 65÷80 % vysokopecní struska/zbytek sádrovec	hlinitany vápenaté hlavní složka 50 % $Al_2O_3$
křemičitan dvojvápenatý (belit) $C_2S$ 3÷26 %	<b>vysokopecní</b> portlandský cement 20÷65 % vysokopecní struska/zbytek sádrovec	
hlinitan trojvápenatý (celit) $C_3A$ 3÷15 %		
hlinitoželezitan čtyřvápenatý $C_4AF$ 5÷20 %		

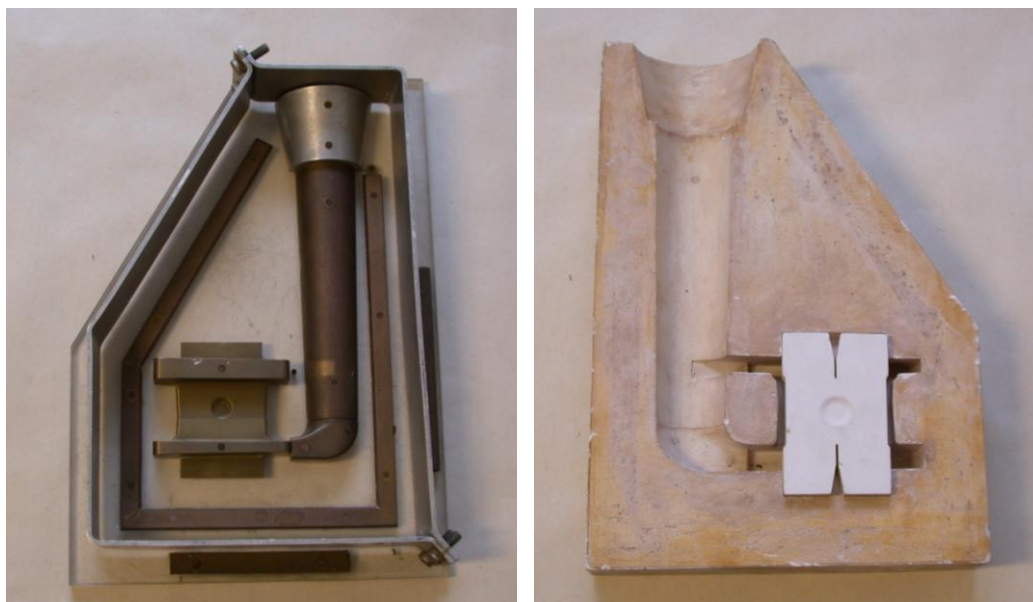
V následující tabulce 2 jsou uvedeny jednotlivé výhody a nevýhody cementových směsí:

**Tab. 2 Výhody a nevýhody cementových směsí [1]**

VÝHODY	NEVÝHODY
není nutné sušení	formovací směs se špatně rozpadá
při pěstování není vyžadována velká síla (oproti jiným jílovým pojivům)	vybíjení a čištění je nákladné
složitě kovové výstuhy nejsou nutné	při dlouhodobém vytvrzování formy se model hůře vyjímá
nízká tendence k vadám z napětí	
nízká cena	
pracovní podmínky dobré a ukládání odpadních písků bez problému	

### 3.2.2 Sádra

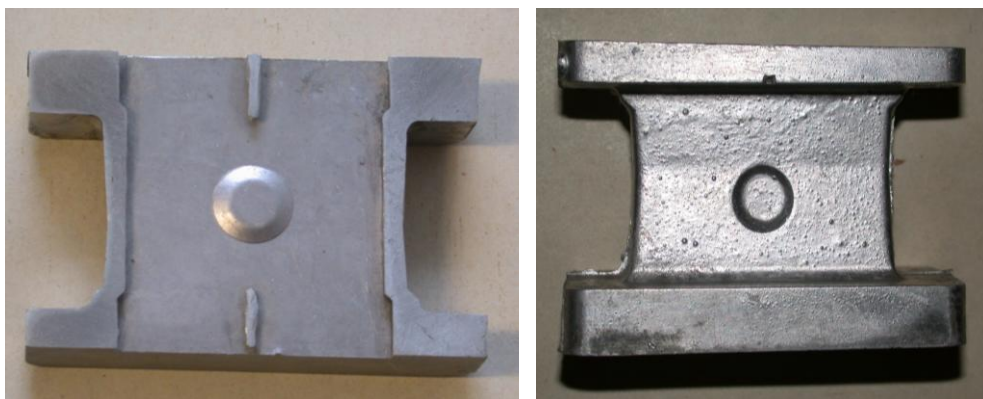
Sádrové formovací směsi – sádra v těchto směsích tvoří pojivo i ostřivo. S její pomocí dochází k vytvoření sádrové formovací směsi pro výrobu přesných odlitků. Sádra ve formě prášku představuje polyhydrát nebo anhydrit síranu vápenatého. Podobně jako u cementové směsi i zde se měří vodní součinitel, jehož hodnoty se pohybují od 0,7 až do 0,85. V případě, že je sádra sloučena s vodou a přísadovými prvky, dojde k tvoření tzv. břechky, která po určité době vytvrdne. Na vlastnosti břechky má zásadní vliv množství vody. Větší množství vody je třeba k vytvoření sádrové břechky, u které je žádoucí, aby byla dostatečně tekutá. Voda se přidává v množství 5/2 až 7/2. Po vytvrzení sádrové břechky vznikne sádrová forma, která je zprvu málo prodyšná, a proto se musí vysušit a vyžít. Sušení probíhá při 200 °C a žíhání při 450 °C. Za účelem zvýšení prodyšnosti se v současné době stále více uplatňují látky, které jsou po vytvrzení schopny vytvářet malé bublinky. Tyto bublinky napomáhají zvyšovat prodyšnost formy. Forma se z tohoto důvodu nazývá napěněná sádrová forma. Na obr. 5 a 6 je vidět model odlitku a cementová forma, na obr. 6 a 7 je surový odlitý odlitek ze slitiny hliníku do cementové formy.



Obr. 5 Pohled na polovinu modelového zařízení (vlevo) a na část sádrové formy s jádrem (vpravo) [2]



Obr. 6 Surový odlitek ze slitiny hliníku AlSi12 odlévaný do sádrové formy [2]



Obr. 7 Pohled na funkční část a vnější povrch odlitku [2]

Díky dobré drsnosti vnitřích ploch odlitku, je tato do jisté míry speciální výroba forem a jader uplatňována pro výrobu vlnovodů v elektrotechnickém průmyslu.

### 3.2.3 Pojiva pro výrobu forem metodou vytavitelného modelu

Pojiva spolu s plnidlem vytvářejí formovací směs. Směs je složena z koloidního roztoku oxidu křemičitého. Jako plnidlo lze použít i anorganická pojiva jako je zirkon, titan atd. Nejpoužívanější pojiva jsou alkosoly  $\text{SiO}_2$  a hydrosoly  $\text{SiO}_2$ .

#### *Alkosolová pojiva*

Alkosolová pojiva jsou koloidní roztoky  $\text{SiO}_2$  v alkosolech. Mezi alkosolová pojiva se řadí látka zvaná etylsilikát, o kterém je pojednáno níže.

*Etylsilikát* - Etylsilikát patří mezi organické sloučeniny kyseliny křemičité. Využívá se k výrobě keramických forem pomocí technologie vytavitelného modelu. Etylsilikát se rozkládá, čímž dochází k vytvrzování. Vytvrzovací proces je urychlen kyselinou solnou nebo čpavkem. Etylsilikát je identifikován pod obchodním jménem ETYLSILIKÁT 40. Jeho štěpením, označovaným jako štěpení hydrolytické, se vytváří polokřemičité kyseliny. Gel polokřemičitých kyselin vzniká shlukováním částic o velikosti 1 nm až 1000 nm, jež jsou označovány pod názvem koloid. Pevnost gelu klesá se snižujícím se pH. Charakteristika pojení spočívá v tom, že koloidní suspenze neboli sol se mění na gel. Na povrchu gelu je vrstva tvořena žáruvzdornými přísadami jako je křemenná moučka, korund, mullit nebo oxid zirkoničitý, která vytváří pevnou slupku. Při dehydrataci neboli ztrátě vody dochází na povrchu gelu k vytvoření vrstvy amorfního  $\text{SiO}_2$ . K vypalování této vrstvy dochází při teplotě 1000 °C, čímž vrstva získá krystalickou podobu  $\text{SiO}_2$ .

#### *Hydrosolová pojiva*

Tato pojiva patří mezi vysoce stabilní koloidní roztoky  $\text{SiO}_2$  ve vodě, u kterých se pH pohybuje v rozmezí od 8 do 10. Používají se buď samostatně, nebo s amoniakem. Příklad amoniaku však vyžaduje nižší pH, a to v rozmezí od 1 do 2. Výše obsahu  $\text{SiO}_2$  se pohybuje od 20 do 40 % hmotnosti celkové směsi. Příprava hydrosolových pojiv je složitější, proto je slévárny nevyrábějí, nýbrž tato pojiva kupují již jako produkt, který pouze upraví přidáním smáčedel.

### 3.2.4 Vodní sklo

Prvotní objev patentu formování směsi s vodním sklem si připsal Lev Petržela 12. 12. 1947. Směsi pro výrobu forem a jader pojené vodním sklem se řadily v 60. a 80. letech minulého století k ústředním technologiím. Směsi s vodním sklem se dříve označovaly jako chemicky tvrzené směsi, tzv. CT-směsi. Ve slévárenství byl tento způsob tvrzení směsi revoluční. Výroba jader a forem si vyžaduje časově náročné sušení, ale proces  $\text{CO}_2$  umožňuje tuto výrobu zrealizovat bez zdoluhavého sušení. Řízené vytvrzování se děje až po přidání  $\text{CO}_2$ , který chemicky reaguje s vodním sklem (pojivem). Směs sloužící pro výrobu jader nebo forem má po vytvrzení vysoké mechanické vlastnosti, pomocí kterých je možné odlévat i robustní odlitky. Směsi pojené vodním sklem a vytvrzované pomocí  $\text{CO}_2$  s sebou nesou řadu nevýhod, které usměrňovaly nový rozmach těchto směsí, a o kterých bude pojednáno dále.

Vytvrzování vodního skla se dělí na směsi *s ovládaným ztužováním* (vytvrzování probíhá za pomoci  $\text{CO}_2$ , vzduchu nebo mikrovln) a *bez ovládaného ztužování* (ST-směsi, chrommagnezitové směsi a samotvrdnoucí směsi).

#### 3.2.4.1 S ovládaným ztužováním

V současné době se slévárenský průmysl zaměřuje na vodní skla, která jsou obohacena látkami na prodloužení trvanlivosti, nazývaných aditiva, a upravena fyzikálními jevy v magnetickém, elektrickém poli nebo ultrazvukem. Cílem je dosáhnout zvýšení pojivových efektů a snížit jejich množství na minimum ve formovací směsi.

#### *$\text{CO}_2$ – proces*

Formovací směs pojená za pomoci vodního skla a vytvrzená  $\text{CO}_2$  se nazývá CT-směs. Proces  $\text{CO}_2$  je velmi složitý a je možné ho zapsat touto rovnicí:



(vodní sklo + oxid uhličitý  $\rightarrow$  gel kyseliny křemičité + soda)

CO<sub>2</sub> je kyselý a suchý plyn, který vytvrzuje vodní sklo. Vodní sklo se působením CO<sub>2</sub> vysuší a transformuje se do kyselého rosolu (gel kyseliny křemičité). Tato hmota po určitém čase vytvrdne s pevností v tlaku 1 MPa. Při tomto procesu vzniká i uhličitán sodný, zvaný soda. Soda se ve vyšších teplotách rozkládá na hydroxid sodný, který je velmi škodlivý.

Proces má řadu nevýhod, jež jsou uvedeny v Tab. 2. V důsledku těchto nevýhod došlo ke zdokonalení procesu tak, aby bylo dosaženo alespoň minimální pevnosti za syrova pro vyndání modelu, než vytvrdne CO<sub>2</sub>. Problém se podařilo odstranit za pomoci tzv. polovazné směsi, která má pevnost v tlaku v rozmezí od 0,015 do 2 MPa. Slévárny se snažily tuto technologii ještě vylepšit, což se podařilo anglické slévárně, která přišla s modifikovaným vodním sklem o modulu dva s přísadou sacharózy. Pevnost je možné dále zvyšovat přidáním jílu jako pojiv, ale po vytvrzení CO<sub>2</sub> se vaznost snižuje. Je nutné stabilizovat vodní sklo hydroxidy alkalických kovů, jako je hydroxid draselný nebo sodný, předtím, než se rozloží. Tímto procesem tak bude dosaženo delší životnosti směsi. S takto stabilizovanou směsí se zhoršuje rozpadavost a stabilizace doprovází spotřebu CO<sub>2</sub>. Problémy byly natolik závažné, že v praxi se proces CO<sub>2</sub> nepoužívá.

**Tab. 3 Nevýhody směsi s vodním sklem vytvrzené CO<sub>2</sub> [1]**

NEVÝHODY
nízká, prakticky žádná vaznost před vytvrzením
malá pevnost po vytvrzení ve srovnání s organickými pojivy
omezená skladovatelnost jader
vysoká spotřeba CO <sub>2</sub>
horší rozpadavost
složitější regenerovatelnost ostřiva



### ***Studený nebo teplý vzduch***

Proces vytvrzování vzduchem je procesem vratným, jelikož zde nastává jen dehydratace křemičitanu sodného. Od CO<sub>2</sub>-procesu se liší tím, že u CO<sub>2</sub> probíhá nevratná chemická reakce.

### ***Mikrovlnné vytvrzování za pomoci Joulového tepla***

Proces mikrovlnného vytvrzování směsi s vodním sklem má do budoucna velký potenciál, ale s velkými nároky na energii. Vytvrzování probíhá elektromagnetickými vlnami o vlnové délce 1 mm až po 1 m. Obvykle se používá 120 až 330 mm s frekvencí 2450 a 915 MHz. S těmito hodnotami je finální pevnost v ohybu 2x vyšší než při vytvrzování organickými sloučeninami – estery. Tímto klesne spotřeba pojiva a zlepší se rozpadavost. Z ekonomického a absorpčního hlediska mikrovln se jako výchozí materiál pro přípravu jaderníku používá bříza, jasan a dub. Krokem kupředu je metoda horkých jaderníků (Hot-Box), která je výhodná obzvlášť u velkých a těžších jader. Jádra jsou profukována horkým CO<sub>2</sub>, čímž probíhá chemická reakce vedoucí ke zvýšení stability a rozpadavosti jader. Dnešní doba nabízí nové možnosti vytvrzování vodního skla, a to za pomoci vodního skla ve formě prášku, modul dva. Maximální vytvrzovací teplota je 200 °C, vyšší teplota směřuje k tzv. termošoku jádra nebo formy, což způsobuje velký otěr. Vytvrzování jader probíhá rychle, čímž získají pevnost a dobrou rozpadavost.

### **3.2.4.2 Bez ovládaného ztužování**

#### ***ST-směsi***

ST-směsi je možné charakterizovat jako pojivový samotvrdnoucí systém s vodním sklem bez řízeného ztužování. Vytvrzování se děje za jiných fyzikálně-chemických podmínek. Vytvrzování probíhá buď s exotermickou reakcí, nebo bez exotermické reakce. Při vytvrzování s exotermickou reakcí dojde k markantnímu zvýšení teploty, na rozdíl od vytvrzování bez exotermické reakce, kdy se teplota jádra

výrazně nezvyšuje. Vytvrzované ST-směsi se dělí na následující dvě metody, a to na **N-metodu** a **Super N-metodu**.

*N-metoda* (Nishyama-proces) je metoda založená na vytvrzování pomocí čistých práškových kovů, jako je hliník a zinek nebo FeSi a CaSi. Je zde uplatňován princip rozkladu vody kovem, v průběhu kterého vzniká vodík a dochází ke značnému tepelnému efektu, který přispívá k dehydrataci křemičitanu. N-metoda se zakládá na vaznosti kyslíku na křemík. Celý proces je z chemického hlediska velice složitý, ale je možné ho vyjádřit touto jednoduchou rovnicí:



N-metoda produkuje vodík, který při styku se vzduchem reaguje a vytváří výbušnou směs. Vytvrzování probíhá za vyšších teplot, a to v rozmezí od 50 do 70 °C. Takto vysoká teplota je likvidační pro laky modelů a jaderníků. N-metoda byla patentována Japonci a také se rozšířila do Japonska a Číny.

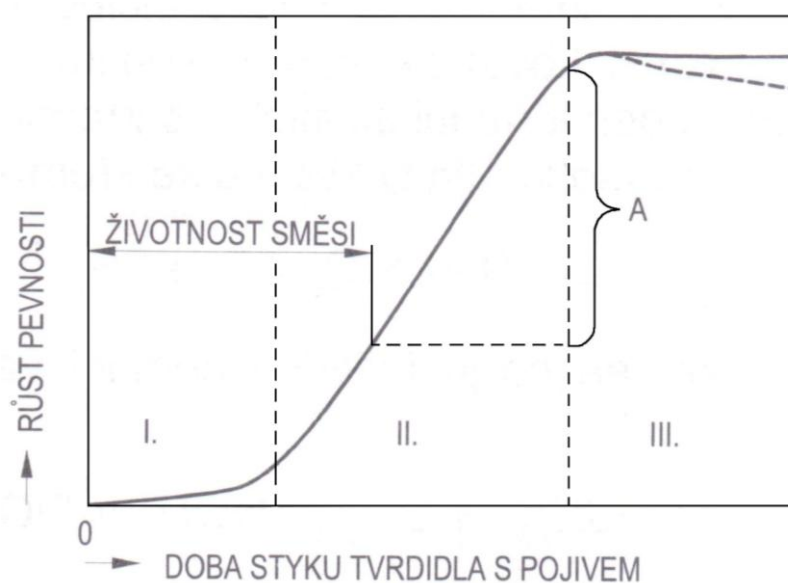
Vytvrzování u **Super N-metody** (Super Nishyama-proces) probíhá za pomoci tekuté směsi na rozdíl od výše zmíněné N-metody, u které jsou využívány práškové směsi. V případě Super N-metody není nutné formování směsi, stačí pouze odlévat nebo pomocí vibrací zhušťovat. Stejně jako u N- metody i zde se využívá reakce kovu s vodou.

ST-směsi vytvrzované práškovými nebo kapalnými tvrdidly se masivně rozšířily a našly tak svoje uplatnění ve slévárenství. Hydraulická tvrdidla ve formě prášku se nazývají strusky, které obsahují dikalciumsilikát (C2S) a trikalciumsilikát (C3S) s přísadou cementu. Hydraulická tvrdidla jsou používána zřídka, protože reagují společně s vodním sklem a směs má tak různou hydrataci, chemické složení atp. To s sebou přináší mnoho problémů spojených s nízkou životností směsi, časově řízeným procesem výroby, obtížnou výrobou malých slévárenských jader a forem a také s jejich obtížnou rozpadavostí. Tyto důvody přispěly k přechodu na kapalná tvrdidla založená na bázi aldehydů a hlavně esterů. Dvě složky esterů tvoří tzv. esterol, kterým lze vytvrzovat vodní sklo. Esterol je kapalina hnědé barvy, která nezapáchá, je nehořlavá a netoxická. V uzavřených nádobách je možné esterol skladovat delší dobu. Vytvrzování vodního skla esterolem probíhá v následujících dvou fázích:

- I. *Fáze* – za přítomnosti alkoholu v prostředí vodního skla dochází v tomto stadiu k rozkladu esteru a uvolňování kyseliny
- II. *Fáze* – uvolněná kyselina reaguje s vodním sklem a dochází k želatinaci a vzniku gelů kyseliny křemičité sloužící jako pojivo

Je vidět, že se obě fáze vyznačují podobnými rysy jako u procesu  $\text{CO}_2$ . Esterol společně s vodním sklem pozitivně ovlivňuje rozpadavost vytvrzené směsi.

Průběh vytvrzování ST-směsi s vodním sklem je možné členit do tří časových úseků znázorněných na obr. 8.



Obr. 8 Tři stádia vytvrzování ST-směsi s vodním sklem [1]

Interval A je chápán jako doba zpracovatelnosti směsi, při které je možné dosáhnout dostačující pevnosti směsi ve finálním stádiu.

- I. *Etapa* – také zvaná jako „inkubační perioda“, ve které probíhá rozdělování esterů v prostředí alkalickém na alkohol a kyselinu. V případě, že pojivo nemá volnou vodu, přeměna v gel neproběhne ani po delší době. Délka celé první etapy je tedy přímo závislá na obsahu volné vody ve vodním skle a také na typu esteru.

- II. Etapa* – popisuje začátek transformace na gel a počátek plastičnosti samotvrdnoucí směsi. Formovací směs vykazuje dostatečnou pevnost potřebnou k manipulaci, přesto však nastává při ohybu plastická deformace jader a forem. V této etapě lze snadno rozebírat jaderníky a vyjímat modely z forem. Taktéž je zde ukončena životnost směsi.
- III. Etapa* – V tomto stadiu jádra dosahují požadované pevnosti.

### ***Chrommagnezitové směsi***

Tyto směsi jsou vhodné pro výrobu těžkých odlitků a také pro tepelně namáhaná místa jader a forem. Vývoj slévárenských formovacích směsí v 70. a 80. letech minulého století se zaměřoval na žáruvzdorné materiály, a to na hlavně na chrommagnezit s vodním sklem jako pojivem. Takováto směs splňovala velmi náročné požadavky slévárenského průmyslu, zejména vysokou odolnost proti zapékání. Z tohoto důvodu získala směs vyšší prioritu před směsmi zirkonovými. Chrommagnezit je před zirkonem upřednostňován z důvodu jeho lepší reakce s oxidy železa, při které vznikají viskozní strusky mezi formou a tekutým kovem, zamezujících penetraci kovu.

Chrommagnezitové směsi jsou hodnoceny dle stupně zapékavosti, rozpadavosti, odolnosti a vnitřní zdravosti jako směsi velmi kvalitní pro výrobu odlitků na syrovo. Mezi hlavní výhody chrommagnezitových směsí ve slévárenském průmyslu jsou řazeny následující vlastnosti:

*Odolnost proti tvorbě zálupek a odpadávání lince formy při odlévání tekutého kovu* – tato vlastnost je důležitá pro vršky těžkých odlitků, které musí odolat dlouhodobému sálání při lití tekutého kovu.

*Odolnost proti zapékání* – tato vlastnost umožňuje odlévat i malé otvory v těžkých odlitcích.

*Dobrá rozpadavost* – je lepší než u směsí  $\text{SiO}_2$ , což je možné ocenit především u pravých jader.

*Chladicí účinek formy* – forma umožňuje vyšší vstřebání tepla, což vede k lepší jakosti povrchu odlitku a k dosažení podstatně kratšího času při chladnutí odlitků ve formě.

Chrommagnezitové směsi mají i své nevýhody při výrobě těžkých odlitků. Formy a jádra se vyrábějí velmi dlouho, a proto formovací směs musí být též odolná po delší dobu, a to po 4 až 6 hodin.

### **Samotvrdnoucí směsi**

Samotvrdnoucí směsi tuhnou buď za citelné exotermické reakce, nebo bez citelné exotermické reakce.

#### ***Samotvrdnoucí směsi s citelnou exotermickou reakcí***

U těchto směsí je používána zejména N-metoda, která čerpá z citelné exotermické reakce křemíku s vodním sklem. Křemík obsažený ve směsi má formu ferosilicia nebo kalciumsilicia a vodní sklo je roztokem alkalického silikátu. O N-metodě je pojednáno v kapitole ST-směsi.

#### ***Samotvrdnoucí směsi bez citelné exotermické reakce***

Směsi vytvrzované vodním sklem jsou používány převážně jako samotvrdnoucí směsi s vodním sklem a bentonitem, dikalcem (C2S), trikalciumpilikátem (C3S) a kapalnými tvrdidly. Mezi nejvíce využívané samotvrdnoucí směsi se řadí směsi s bentonitem, uvedené níže:

*Samotvrdnoucí směsi s vodním sklem a bentonitem* - jedná se přímo o českou slévárenskou technologii pro výrobu ocelových odlitků. Formovací směs s vodním sklem a bentonitem jsou velmi výhodné především v delší skladovatelnosti forem a jader, odolnosti proti zálupkům, vyšší odolnosti proti zapékání a dostačující pevnosti pro odlévání i masivnějších odlitků. Pevnost se projevuje až po dehydrataci vodního skla kolem 200 °C. Samovytvrzovací proces se děje dehydratací vodního skla bentonitem, kdy se voda odpařuje do ovzduší pomalu v celém svém objemu, ale také

z povrchu formy, což je rychlejší. Pokud má vodní sklo nízkou alkalitu, dehydratace probíhá rychleji, avšak na úkor nižší životnosti směsi. Na životnost směsi má vliv jak kvalita bentonitu, tak i čistota křemenných písků. Z tohoto důvodu jsou tyto směsi primárně připravovány s vodním sklem o malém modulu.

#### **4. POJIVA II. GENERACE Z HLEDISKA EKONOMIE A EKOLOGIE**

Z hlediska ekologického a zdravotního se ukazuje, že větší možnost pro uplatnění mají směsi anorganického původu. Také vývoj pojiv a pojivových systémů na přelomu tisíciletí, je ve znamení nových pojivových systémů zdravotně nezávadných a ekologicky výhodných. V oblasti pojiv na bázi vodního skla je využíváno dehydratačních pochodů a princip by měl být podobný jako u metody Hot-Box. V roce 2003 japonská firma ITOCHU CERATECH CORP představila převratnou novinku v oblasti ostřiv, umělé ostřivo na bázi aluminosilikát-mullit (duté kuličky v široké plejádě zrnitosti), toto ostřivo vykazuje minimální tepelnou dilataci, je známo pod obchodním názvem Cerabead, JELÍNEK [3]. V tomto roce 2007 také kolektiv autorů KRAMÁŘOVÁ et al. [4] publikoval poznatky o ekologičtějších biogenních polymerních materiálech, které mohou být použity jako pojivo slévarenských formovacích a jádrových směsí. Výsledkem bylo navržení dvou typů pojiva na bázi proteinových molekul s označením ZMK a ZTK. Proteinové pojivo samotné je odpadem farmaceutického průmyslu, je netoxické, nehořlavé a nereaktivní. Principem vytvrzování formovacích směsí s navrženými pojivy je pouze iniciace vyvolaná působením tepla. Neprobíhá zde dále žádná chemická reakce.

## 5. VYŽITÍ SMĚSÍ II. GENERACE PŘI VÝROBĚ ODLITKŮ

V této kapitole bych se chtěl pokusit o popis využití některých směsí při výrobě odlitků.

**Firma SECO – GROUP Jičín** vyrábí drobné odlitky (hmotnost 0,1 až 7 kg) z litiny s kuličkovým grafitem (EN-GJS 400-15, EN-GJS 500-7, EN-GJS 600-3, EN-GJS 700-2), odlitky jsou odlévány do forem z bentonitové směsi. Jádra jsou vyráběna metodou Hot-Box, směs je vstřelována do jaderníku, složení jádrové směsi firma neuvádí. Na obr. 10 jsou uvedeny vyráběné odlitky.



Obr. 9 Odlitky z litiny s kuličkovým grafitem [9]

**HB SLÉVÁRNA spol. s r.o.** se zaměřuje na výrobu odlitků ze šedé litiny (ČSN 42 24 15 (GG-15), ČSN 42 24 20 (GG-20), ČSN 42 24 25 (GG-25)) pro automobilový průmysl. Hmotnost odlitků se pohybuje od 0,5 do 100 kg. Jádra jsou vyráběna metodou Hot-Box a Cold-Box. Firma odlévá odlitky z šedé litiny do bentonitových formovacích směsí. Pro automobilový průmysl firma vyrábí hlavně zdvihátka ventilů, motorové a kompresorové válce, větrané brzdové kotouče, výfukové potrubí apod. Mezi hlavní odběratele slévárny jsou VW-Škoda, TATRA, LIAZ. Na obr. 10 je ukázka vyrobených odlitků.





Obr. 10 Odlitky z šedé litiny [10]

**ROUČKA SLÉVÁRNA, a.s.** se specializuje na výrobu odlitků z oceli (uhlíková ocel, nízkolegovaná ocel, vysokolegované a nerezové oceli), na šedé a tvárné litiny a také speciální slitiny založené na bázi niklu (MONEL, DUPLEX, INCOLLOY, HASTELLOYS). Firma odlévá odlitky do bentonitových forem, furanových forem a do skořepinových forem podle metody Croning. Hmotnost odlitků se pohybuje od 1 kg do 7000 kg. Obr. 12 zobrazuje odlitky, které slévárna produkuje.



Obr. 11 Odlitky odlévané do skořepinových forem metodou Croning [11]

**FOCAM spol. s r.o.** zaměřuje se na odlitky z tvárných, šedých, vezikulárních, legovaných litin a ocelí, slitin Al a Cu. Formují se zde chemicky vytvrzované formovací směsi na bázi alkalických fenolů. Jádra jsou vyráběna metodou Cold-Box s pojivem na bázi alkalických fenolů tvrzených  $\text{CO}_2$ . Hmotnost odlitků se pohybuje od

0,1 do 450 kg. Na obr. 13, 14, 15, 16 jsou zobrazeny odlitky vyráběné z litiny s kuličkovým grafitem (LKG).



Obr. 12 Odlitek klikového hřídele [12]



Obr. 13 Odlitek pístu motoru [12]



Obr. 14 Odlitek výfukového potrubí [12]



Obr. 15 Odlitek tělesa ventilu [12]

## 6. DISKUSE POZNATKŮ

Pojivo funguje ve formovací a jádrové směsi jako „lepidlo“, které spolu s ostřivem dávají směsi požadovaný tvar formy a specifické vlastnosti pro odlévání budoucího odlitku. V dnešní době je pojiv II. generace celá řada a rozdělují se do dvou velkých skupin, a to organických a anorganických pojiv. Samotné pojivo je jen pouhá látka, která nemůže nic „slepit“. Aby se tato látka mohla stát pojivem, potřebuje další látku, tzv. tvrdidlo. Teprve s tvrdidlem plní pojivo svoji funkci. Tvrdidel existuje celá škála a určitý druh pojiva potřebuje i určitý druh tvrdidla, ať už je to voda, CO<sub>2</sub>, pryskyřice, mikrovlny apod. Na pojivo jsou kladené přísné požadavky, především formovatelnost, tekutost celkové formovací směsi, které jsou důležité např. pro vstřelování, stálost a pevnost za vyšších teplot, ale i pro snadnou regeneraci směsi. S vysokými nároky přicházejí i velké ekologické, ekonomické a technologické problémy.

Se stále se zvyšující úrovní zdravotnictví bylo zjištěno, že pojiva vyráběná na bázi pryskyřic jsou zdravotně závadná - rakovinotvorná, proto postupem času došlo k vývoji nových pojiv na bázi pryskyřic, která jsou méně škodlivá. Další problém z hlediska ekologie spočívá v ukládání nebezpečného odpadu, který je spojen se špatnou likvidací formovací směsí.

V důsledku stále přetrvávající ekonomické krize došlo ke značnému nárůstu cen energie, která je však velmi důležitá pro výrobu jader. Proto došlo k omezení výroby těchto jader pomocí metod Hot-Box a Warm-Box, které mají spotřebu energie velmi vysokou, a spíše je využíváno metody studeného (zmraženého) jaderníku, neboli metody Cold-Box.

Jedním z hlavních problémů v oblasti technologie je plynatost. Větší množství těchto nežádoucích plynů způsobuje vady na odlitcích. Proto dochází k vývoji takových pojivových systémů, které tuto plynatost minimalizují.

V dnešní době je slévárenská výroba ovlivňována přísnými zdravotními nařízeními a značný vliv na výrobu měla i ekonomická krize. Negativní externalitou při slévárenské výrobě je produkce toxických plynů, které jsou vypouštěny do ovzduší.

Proto se slévárny v dnešní době zaměřují na vývoj ekologických pojivových systémů založených na bázi biopolymerů.

## 7. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá charakteristikou a uplatněním pojivových systémů formovacích a jádrových směsí II. generace. Vývoj druhé generace pojivových systémů je historicky spojen s obdobím 2. světové války a po 2. světové válce, tzv. chemizace výroby forem a jader. K tomuto období je vázán např. patent DRP 832.937 Croninga z roku 1944, který se týká výroby skořepinových forem s použitím fenolformaldehydové pryskyřice a dále patent našeho slévárenského chemika Dr. Lva Petržely z roku 1947, kde využívá pojivo ve formě vodního skla vytvrzeného  $\text{CO}_2$ .

Později se začínají intenzivněji uplatňovat organické pojivové systémy, které přispívají k vysoké produktivitě především výroby jader. Značný vývoj v oblasti uplatnění formovacích a jádrových směsí nastává s rozvojem automobilového a leteckého průmyslu v dnešní době (na přelomu 20. a 21. století). Tento vývoj je úzce spojen s otázkami ekologickými a ekonomickými.

Jak ukazuje přehled bakalářské práce, pojivových systémů II. generace je celá řada a dělí se dle různých kritérií. Primárně je možné je dělit na organická a anorganická pojiva.

Organická pojiva našla své uplatnění hlavně při pojení jádrových směsí a výrobě jader metodami Hot-Box, Warm-Box a Cold-Box. Směsi pojené organickými pojivy se vyznačují dobrou rozpadavostí, vysokou pevností po vytvrzení a nízkou teplotou termodestrukce. Směs vykazuje i dobrou tekutost, což je výhodné z pohledu výroby jader, kdy je možné směs foukat či vstřelovat do jaderníku. Jádra snesou i delší skladovatelnost. Patří sem starší pojiva, olej a sacharidy (monosacharidy – glukoprén, melasa, dextronér a polysacharidy - škrob), které jsou v dnešní době nahrazovány modernější umělou pryskyřicí. Umělých pryskyřic se ve slévárenství používá hojně. Avšak umělá pryskyřice produkuje velké množství plynů a taktéž byl prokázán vliv na vznik karcinomů. Nejvíce nebezpečná byla pryskyřice fenolformaldehydová, která se v dnešní době již nepoužívá. Pryskyřice jako pojivo slouží pro výrobu skořepinových forem a jader metodou C dle Croninga, metodou Hot-Box, Warm-Box a Cold-Box. Nejvíce se využívá fenolických, furanových, močovinoformaldehydových a kombinovaných pryskyřic.

Anorganická pojiva mají minerální původ. Mezi hlavní pojiva patří cement, sádra, vodní sklo, alkosoly a hydrosoly, které se využívají u metody vytavitelného modelu. Cement sloužící k přípravě cementových formovacích a jádrových směsí patří k jednomu z nejstarších směsí a v České republice není známo jejich použití. Cementové formovací směsi našly své uplatnění hlavně při výrobě těžkých odlitků z litiny a oceli. Značná výhoda těchto směsí spočívá v prakticky nulové plynatosti při odlévání. V dnešní době cementová pojiva přenechávají své místo modernějším pojivovým systémům. Sádrové formovací a jádrové směsi jsou využívány k odlévání rozměrově přesných odlitků. Sádra je výjimečná tím, že tvoří jak pojivo, tak i ostřívo. Zásadní složkou u sádrových směsí je voda, která se sádrou vytváří tzv. břečku. Břečka po vytvrzení vytvoří formu, která má dostatečnou tvrdost nutnou pro odlití tekutého kovu. V dnešní době jsou preferovány tzv. napěněné sádrové formy, které ve své vrchní vrstvě mají aktivní látky. Aktivní látky po ztuhnutí sádrové břečky vytvářejí bublinky, které zvyšují odvádění plynů z formy. Alkosoly a hydrosoly jsou využívány u výroby keramických forem metodou vytavitelného modelu. Pod obchodním názvem ETYLSILIKÁT 40 se skrývá nejpopulárnější alkosol. Vodní sklo ve formovací a jádrové směsi se nejvíce využívá u CT a ST směsí. V případě CT směsí je vodní sklo vytvrzeno  $\text{CO}_2$ , naopak ST směsi se vytvrzují čistými práškovými kovy a vytvrzování je doprovázeno buď exotermickou reakcí, nebo bez exotermické reakce. Vývoj směsí s vodním sklem za minulých 40 let přinesl spoustu nových směsí např. samotvrdnoucích s práškovými nebo kapalnými tvrdidly, které se nazývají estery.

Vývoj v oblasti pojivových systémů značně pokročil od počátků využívání pojiv II. generace. Tento vývoj bude pokračovat i v budoucnosti, která skrývá nové možnosti vývoje stále lepších technologií pojení a pojiv jako takových, šetřících jak naše zdraví, tak i životní prostředí. V této souvislosti je možno uvést současný výzkum tzv. geopolymerních pojiv. Geopolymery jsou předmětem výzkumu posledních deseti let a jsou na anorganické bázi. Pojem geopolymer před třiceti lety použil profesor Davidovits pro látku, která vzniká anorganickou polykondenzací - geopolymerací. Geopolymery jsou také alkalické aluminosilikáty (materiály obsahující Si, Al a alkalický prvek Na nebo K). Tyto geopolymery se vyznačují nízkým stupněm polymerace při vysoké rychlosti vytvrzování. V Česku je tento způsob patentován č. 297578 a v zahraničí č.

454040 pod označením technologie GEOPOL, která je určena pro výrobu samotvrdnoucích směsí, BURIAN [13].

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JELÍNEK, P. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí (chemie slévárenských pojiv)*. Ostrava 2004, 1.vyd, ISBN 80-239-2188-6
- [2] MICHNA, Š, NOVÁ, I. *Technologie zpracování kovových materiálů..* Prešov: Adin, s.r.o., 2008, 1. vyd, ISBN 978-80-89244-38-6.
- [3] JELÍNEK, P. *GIFA 2007 – novinky v oblasti pojiv, ostřiv a nátěrů v technologických postupech výroby forem a jader*. Slévárnictví LV, 2007 č. 8 – 9, s. 388 až 391, ISSN 0037-6825.
- [4] KRAMÁŘOVÁ, D., BRANDŠTETR, J., RUSÍN, K. et al. *Pojivové systémy na bázi biogenních materiálů*, Sborník konference, VUT Brno 2003, pp.23-28.
- [5] NOVÁ, I. *Teorie slévání I*. Liberec 2006, 1.vyd, ISBN 80-7372-149-X
- [6] NOVÁ, I., NOVÁKOVÁ I., Liberec 2006, 1.vyd, ISBN 80-7372-052-3
- [7] VĚTIŠKA, A. a kol. *Teoretické základy slévárenské technologie*. Praha 1974
- [8] JELÍNEK, P. *Slévárnictví*. 3.vyd, VŠB Ostrava 1992.
- [9] Technické podklady firmy [www.secogroup.cz]
- [10] Technické podklady firmy [www.hbslevarna.cz]
- [11] Technické podklady firmy [www.roucka-slevarna.cz]
- [12] Technické podklady firmy [www.focam.cz]
- [13] BURIAN, A. et al.: *GEOPOL technologie výroby forem a jader s anorganickým pojivem*. Slévárnictví LIV 2006 č. 1, s. 19 až 21.



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	<b>Charakteristika poživ I. generace.....</b>	<b>51</b>
Příloha č. 2	<b>Pojivové systémy III. generace .....</b>	<b>52</b>
Příloha č. 3	<b>Pojiva IV. generace .....</b>	<b>53</b>

# **PŘÍLOHA**

## **Příloha č. 1      Charakteristika pojiv I. generace**

Pojiva zahrnutá do této generace se řadí mezi pojiva anorganická. I. generace je založena na jílových pojivech, které zaujímají největší část pojiv. Patří k nejstarším pojivovým systémům, které používají jako pojivo jíl. K pojení směsi dochází v důsledku několika sil, a to sil adhezních a kohezních. Adhezní síly působí mezi ostřivem a pojivem a síly kohezní mezi částicemi pojiva. Mezi jíly používané v I. generaci se řadí:

*Kaolinitický jíl (kaolinit)* – jíl používající se pro výrobu forem a také jader robustních ocelových odlitků. Pojivo obsahuje šamotový lupek.

*Illitický jíl* – tento jíl slouží pro odlévání masivních litinových odlitků. Jeho předností je velice dobrá odolnost vůči vysokým teplotám. Nejčastěji je namícháván s přírodními písky.

*Montmorillonitický jíl* – tuto skupinu jílu je možné nazývat bentonity. Je-li obsah montmorillonitu mezi 75 až 80 %, je možné z nich vyrábět bentonitové směsi.

## **Příloha č. 2      Pojivové systémy III. generace**

Zde probíhá pojení vlivem fyziky. Ostřivo je zde pojeno za pomoci fyzikálních jevů.

*Magnetická indukce* – touto metodou je vyráběna magnetická forma, a to zasypáním spalitelného modelu, jenž obsahuje spalitelné vtokové soustavy. Jak model, tak i vtoková soustava jsou opatřeny nátěrem – ostřivem, který je žáruvzdorný a brání pronikání tekutého kovu mezi póry jádra. Ostřivo neboli ocelové broky, je feromagnetický zrnitý materiál. Velice nutné při odlévání je, aby nebyla překročena teplota cca 727 °C, kdy ostřivo ztrácí svou magnetickou schopnost.

*Vakuum* – tato metoda je ekonomicky náročná. K formování se v tomto případě využívá vakua. K vytvoření vakua je zapotřebí i výkonné vakuové zařízení, tzv. vývěvu. Jak formovací deska, tak i model musí mít otvory, aby bylo možné vzduch odsát. Nutná je termoplastická folie, která se přiloží na model a vtokovou soustavu. Model se zasype ostřivem, nejlépe křemenným pískem. Formovací rám se překryje další folií. Vývěva odsaje vzduch mezi foliemi, vakuum pod modelem se přemění na tlak vzduchu. Tímto se oddělí model od formy.

*Zmrazování* – jak už název napovídá, jedná se o zmrazování formovací směsi, která obsahuje písek a vodu. Směs je nasypána do rámu, kde je zaformována. Zaformovaná směs se zmrazí oxidem uhličitým nebo kapalným dusíkem. Voda se stává ledem, který má za následek spojení směsi a jader. Aby forma neztratila svou soudržnost během lití nebo tuhnutí odlitku, teplota nesmí překročit hodnotu -10 °C.

### **Příloha č. 3      Pojiva IV. generace**

V dnešní době slévárny vypouštějí do ovzduší toxiny, které jsou zdraví nebezpečné. Při vývoji nových technologií pojení jsou využívána pojiva, která se vyrábějí na základě biopolymerů. Cílem je tak získat zdravotní nezávadnost, lepší rozpadavost a regenerace formovací směsi. Je možné využívat i pojiva na bázi proteinů, které jsou základní podpírající složkou živých organismů.

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 28. květen 2010

Podpis

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 28<sup>th</sup> May 2010

Signature